



Maatilamittakaavan biokaasulaitoksen suunnittelu

Juha Koivu

OPINNÄYTETYÖ
Joulukuu 2023

Konetekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka

KOIVU, JUHA:
Maatilamittakaavan biokaasulaitoksen suunnittelu

Opinnäytetyö 38 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Joulukuu 2023

Opinnäytetyö tehtiin Doranova Oy:lle. Yritys suunnittelee ja valmistaa erikokoisia biokaasulaitoksia asiakkaan tarpeisiin eri syötemateriaaleille. Työssä keskityttiin maatilalle mitoitettuun, eloperäistä syötettä käyttävään biokaasulaitoksen teknisen tilan suunnitteluun sisältäen yhdistetyn sähkö-, ilma- ja automaatiotilan, syötölaitteen, sekä lämmöntalteenottolaitteiston.

Opinnäytetyönä suunniteltiin maatilakokoluokan biokaasulaitoksen teknisentilan layout suunnitelma tuotantolinjamenetelmää käyttäen. Vaihtoehtoista tehtiin painoarvotaulukko yrityksen edustajan avuksi arviointiin. Yrityksen edustaja valitsi vaihtoehtoista toteutuskelpoisimman. Valitusta vaihtoehdosta piirrettiin 3D-mallinnus. Suunnittelu- ja piirtotyö toteutettiin Solidworks- ja AutoCAD-ohjelmistoilla. Valittuun malliin piirrettiin lisäksi reaktori, soihdu sekä CHP-laitteistokontti havainnollistamaan kokonaisuutta.

Työn tuloksena Doranova Oy:lle suunniteltiin toimiva layout-malli kaasulaitoksesta, jota yritys voi myydä ja markkinoida maataloille uusiutuvan energian tuotantolaitoksena.

Biokaasulaitoksia suunniteltaessa erilaisten vaihtoehtojen määrä reaktorin toimintatavassa, syötteissä ja teknisessä laitteistossa muokkaavat biokaasulaitoksen layout-kuvaa tapauskohtaisesti. Yhdessä laitteistossa ja toimintatavassa pysyttäytyminen vähentää suunnittelun tarvetta laitoksia suunniteltaessa mutta heikentää tulevaisuudessa menestymistä. Tuotekehityksen jatkamisella yritys pysyy elinkelpoisena, ja asiakkaat saavat parempia tuotteita. Jatkokehityskohteena voisi keskittyä laitoksen lämpöenergian talteenottoon, ja kesäaikaan tuotetun lämpöenergian hyödyntämiseen tehokkaammin.

Asiasanat: biokaasulaitos, layout

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Name of the Option

KOIVU, JUHA
Desing of a Farm-Scale Biogas Plant

Bachelor's thesis 38 pages, appendices 4 pages
December 2023

The topic proposal for the thesis came from a company that needed a layout plan and a 3D model of a farm-scale biogas plant. There is an increasing demand for farm-scale biogas plants, and the company aims to respond to this demand with its own plant concept. The work involved designing a functional layout with the assistance of the company's representative, utilizing their internal knowledge of planned facilities and leveraging previous research on the subject.

The production line method was used in designing the layout, and a weighted scoring table was employed in the decision-making process. In this scoring table was emphasized certain selection criteria that influenced achieving the desired outcome.

According to the current information available, the best outcome for the company was achieved in this study, and the results can be used in the sales and marketing of farm-scale biogas plants. The selection of equipment for the plant was made by the company, considering the equipment's simple structure and affordable price. The biogas plant designed in the work functions as a continuous wet anaerobic digester.

The work provided significant insights into the operation and equipment of a biogas plant. In the future, factors such as the carbon neutrality of the energy produced and the circular economy, which is largely realized in farm-scale biogas plants, will have a considerable impact.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
1.1	Työn tausta	6
1.2	Yritysesittely	6
1.3	Tavoitteet	7
2	Biokaasuprosessi	8
2.1	Syöte	10
2.2	Biokaasulaitos laitostyyppi	13
2.2.1	Märkäprosessi	13
2.2.2	Kuivaprosessi	15
2.3	Reaktorin lämpötila	16
2.4	Mädätysjäännös	17
2.5	Kaasun hyödyntäminen	18
2.6	Jälkikaasuallas	19
2.7	Laitteisto	19
	Lämpökattila	19
	CHP	19
	Lämmöntalteenotto	20
2.7.1	Syöttölaiteratkaisu	20
	Easyfeeder solo	20
	Pre-mix	21
3	Layout	22
3.1	Tuotantolinja layout	22
3.2	Funktionaalinen layout	23
3.3	Solulayout	24
3.4	Tuotetehtaat ja verstaat	25
3.5	Layoutin valinta	26
3.6	Painoarvotaulukko	26
4	KOHTEEN ESITTELY	27
4.1	Laitteiston vaatima tilantarve	27
4.2	Painoarvotaulukko	29
4.3	Tulokset ja johtopäätökset	31
5	POHDINTA	33
	LÄHTEET	34
6	Liitteet	35

ERITYISSANASTO

Anaerobinen	Hapeton, orgaanisen materiaalin mädätys
Kaasumembraani	Kaasutiivis kalvo reaktorin päällä. Kalvo joustaa ja mahdollistaa kaasuväestön tilavuuden muutoksen
Linko	Kuiva ja märkäjakeen erotteluun tehty pyörivä rumpu
Mädäte	Reaktorissa lasketun viipymän ja reaktion läpikäynyt poistettava massa
Mädätys	Anaerobisessa tilassa oleva syöte
Reaktori	Rakennus, jossa kemiallinen reaktio tapahtuu
Rejekt	Neste joka eroteltu lingolla mädätteestä
SIA-tila	Sähkö-, ilma-, automaatiotila huone teknisessä tilassa
Syöte	Biokaasureaktoriin syötettävä materiaali
Sääsuojamembraani	Erikoiskalvo kaasulaitoksen uloin osa katteessa

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Energian kallistuessa ja maatalojen kamppaillessa kannattavuuden kanssa biokaasulaitoksen perustamisella maatilan tulevaisuuden ja mahdollisuuksien näkyvät paranevat huomattavasti. Opinnäytetyö käynnistettiin yrityksen tarpeesta saada layout suunnitelma maatilakokoluokan laitoksesta. Biokaasua muodostuu luonnossa anaerobisessa prosessissa (hapettomassa tilassa) esim. suolla, järvien pohjasedimentissä, märehitijöiden pötsissä. Hapettomuutta tarvitaan, jotta orgaanisesta aineesta saadaan poltettavaa kaasua bakteerien avustuksella. Biokaasulaitoksia käytetään mm. teollisuuden ja yhdyskuntien biojätteiden, jätevesilietteiden sekä maatalojen biomassojen käsittelyyn anaerobisessa mädätysprosessissa. Suomessa hyödynnetään vain vähän maatalojen biokaasupotentiaalista. Maatiloilla on suurta potentiaalia esim. nurmessa, oljessa ja lannassa. Biokaasulaitos mahdollistaa maatilan oman sähkön ja lämmöntuotannon, jolla pystytään vähentämään ostettavaa energiaa, parantaen tilan energiaomavaraisuutta. Biokaasulaitoksen mädätysjäännös on parempi lannoite kuin pelkkä lanta, koska typpiyhdisteet hajoavat ammoniumtypeksi, joka on kasveille käyttökelpoisessa muodossa olevaa lannoitetta. Lannan hajuhaitta ja hygieeninen laatu paranee biokaasuprosessissa. (Biokaasun tuotanto maatilalla. 2013, 1–13; Winqvist ym. 2018, 11–13.)

1.2 Yritysesittely

Doranova Oy perustettu 1995 toimitilat sijaitsevat Vesilahdella. Toimitusjohtajana on Antti Myllärinen. Yrityksen liikevaihto viimeksi päättyneellä tilikaudella oli 6,5 MEUR ja henkilöstöä noin 15 kpl. vuonna 2022.

Yritys suunnittelee ja rakennuttaa biokaasulaitoksia suomessa ja ulkomailla, tällä hetkellä kohteet sijaitsevat kotimaassa lähinnä koronasta aiheutuneista syistä.

1.3 Tavoitteet

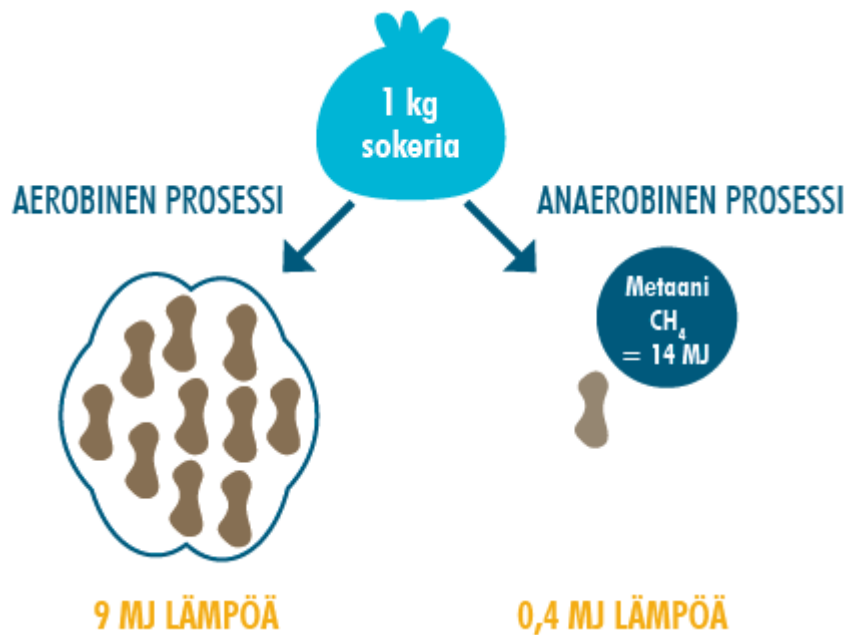
Projekti lähti liikkeelle opinnäytetyöstä ja yrityksen tarpeesta saada suunnitelma maatilakokoluokan biokaasulaitoksesta. Maatilalle rakennettava biokaasulaitos täytyy suunnitella ja toteuttaa kustannustehokkaasti, koska laitoksen kannattavuus on usein heikko. Rakennusmateriaalit rakennuksessa ja rakenteissa pyritään valitsemaan kestävyys ja huoltovapaus huomioiden, jolla minimoidaan rakenteiden korjauskustannuksia ja saavutetaan rakennuksen koko elinkaaren kestävä rakenne verrattuna esim. konttiratkaisuun. Työssä suunniteltava maatilakokoluokan kaasulaitos on sovitettavissa monille eri maatiloille samalla layoutilla skaalautuvuus huomioituna.

Opinnäytetyö rajautuu tekniseen tilaan, ja siitä tehtävään suunnitteluun.

Biokaasulaitoksesta ja valitusta layout kuvasta piirretään 3D-malli, millä yritys voi esitellä laitosta asiakkaille sekä käyttää omiin tarpeisiinsa. Laitteisto vaihtoehtoja on biokaasulaitoksella useita, ja laitevalinta työtä varten oli tehty yrityksen puolesta valmiiksi. Työssä käytin yrityksen työntekijöille kertynyttä sisäistä tietoa hyväksi suunnittelun apuna.

2 Biokaasuprosessi

Hapen läsnäollessa tapahtuva biologinen hajoaminen tunnetaan nimellä aerobinen prosessi, joka esimerkiksi tapahtuu kompostoinnissa. Anaerobinen prosessi puolestaan tuottaa vähän lämpöä, mutta tuotettu energia saadaan talteen metaanin muodossa. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 64.) Prosessin energiantuotannon eroavaisuus vs. aerobinen. kuvio 1.



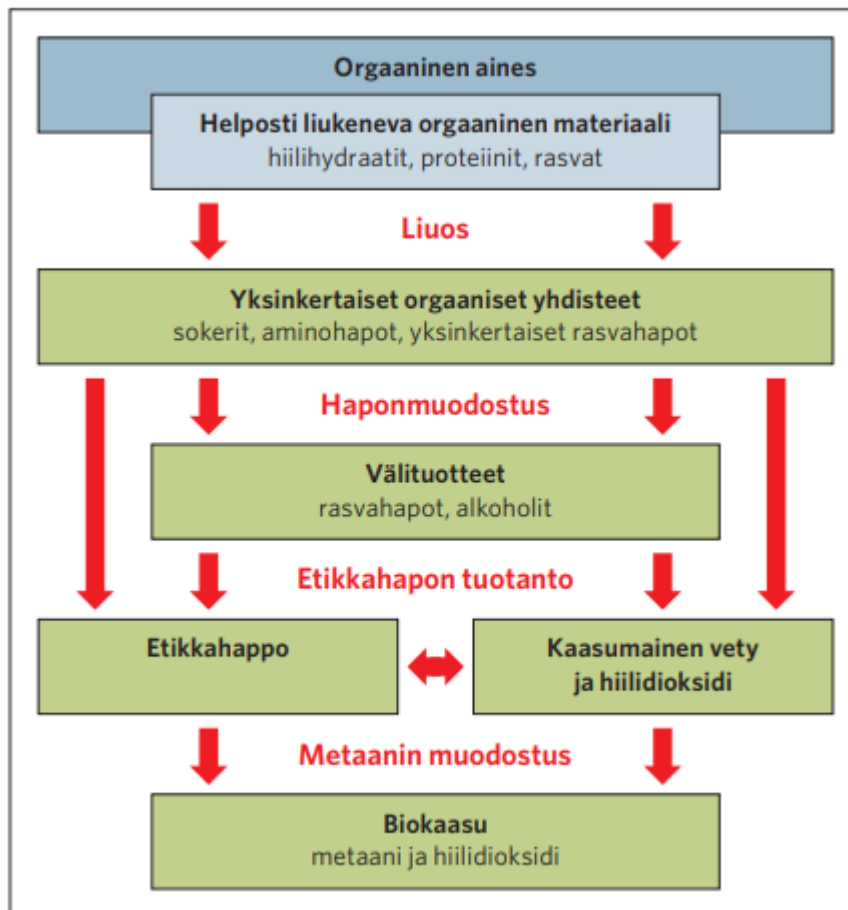
KUVIO 1. kompostoinnin ja biokaasuprosessin energiantuotanto (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 64)

Biokaasu koostuu metaanista, hiilidioksidista ja pienistä määristä hiilimonoksidi, typpi, vety, rikkivety Taulukosta 1 selviää yleinen koostumus.

TAULUKKO 1. Biokaasun keskimääräinen koostumus (Biokaasun tuotanto maatilalla 2013, 3.)

Aine	%
Biometaani	55–75
Hiilidioksidi	25–45
Hiilimonoksidi	0–0,3
Typpi	1–5
Vety	0–3
Rikkivety	0,1–0,5

Biokaasu muodostuu neljässä vaiheessa, joissa kaikissa on omat pieneliöryhmät: Liukoistuminen (hydrolyysi), happokäyminen (asidogeneesi), etikkahappokäyminen (asetogeneesi), metaanikäyminen (metanogeneesi). Kuviosta 2. selviää prosessin vaiheet. (Biokaasun tuotanto maatilalla, 2013, 4).



KUVIO 2. Prosessin neljä vaihetta (Biokaasun tuotanto maatilalla 2013, 4.)

Biokaasu on kaasuseos, joka sisältää biometaania 55–75 %. Kuutiometri biomeetaania sisältää energiaa n.10 KWh, ja litra kevytpolttoöljyä vastaa energiasisällöltään samaa määrää. (Kymäläinen & Pakarinen, 2015, 16)

Peltobiomassasta saisi Suomessa metaania talteen jopa 20–40 MWh hehtaarilta. Vertailuna metsän puunkasvu hehtaaria kohden on hyvissä olosuhteissa maks. noin 10 MWh vuodessa. (Kymäläinen & Pakarinen, 2015, 16)

2.1 Syöte

Lähes kaikki orgaaninen aines soveltuu biokaasun muodostumiseen anaerobisissa olosuhteissa. Parhaiten tähän soveltuvat aineet sisältävät runsaasti rasvoja, hiilihydraatteja ja proteiineja, sillä ne hajoavat nopeasti ja muuttuvat biokaasuksi. Esimerkiksi puulla ei ole näitä ominaisuuksia, joten se soveltuu huonosti biokaasun tuotantoon. Lisäksi puu sisältää ligniiniä, joka ei sovellu korkeina pitoisuuksina biokaasun tuotantoon. (Kymäläinen, M. & Pakarinen. 2015, 21–23; Luostarinen 2013, 13.)

Yleensä käytetään saatavilla olevia syötteitä yhdistelemällä kahta tai useampaa eri tuotetta, jotta saadaan sopiva seos. Erilaisten tuotteiden yhdistäminen auttaa tukemaan toistensa ominaisuuksia luoden vakaan ja taloudellisesti kannattavan prosessin. Tällä tavalla voidaan syöttää reaktoriin materiaaleja, jotka eivät yksinään sovellu kaasun tuotantoon. Tätä kutsutaan myös yhteiskäsittelyksi (co-digestion). (Kymäläinen, M. & Pakarinen. 2015, 21–23; Luostarinen 2013, 13.)

Reaktoriin syötettävää materiaalia arvioidessa otetaan huomioon metaanintuotantopotentiaali (BMP), kuiva-ainepitoisuus (TS), orgaanisen aineen määrä (VS) sekä hiilen ja typen suhde (C/N). Lisäksi arvioidaan yleensä hiven- ja ravinneainekoostumusta. Syötteen viipymäaika reaktorissa riippuu syötteen ominaisuuksista ja vaihtelee eri syötteillä. (Kymäläinen, M. & Pakarinen. 2015, 21–23; Luostarinen 2013, 13.)

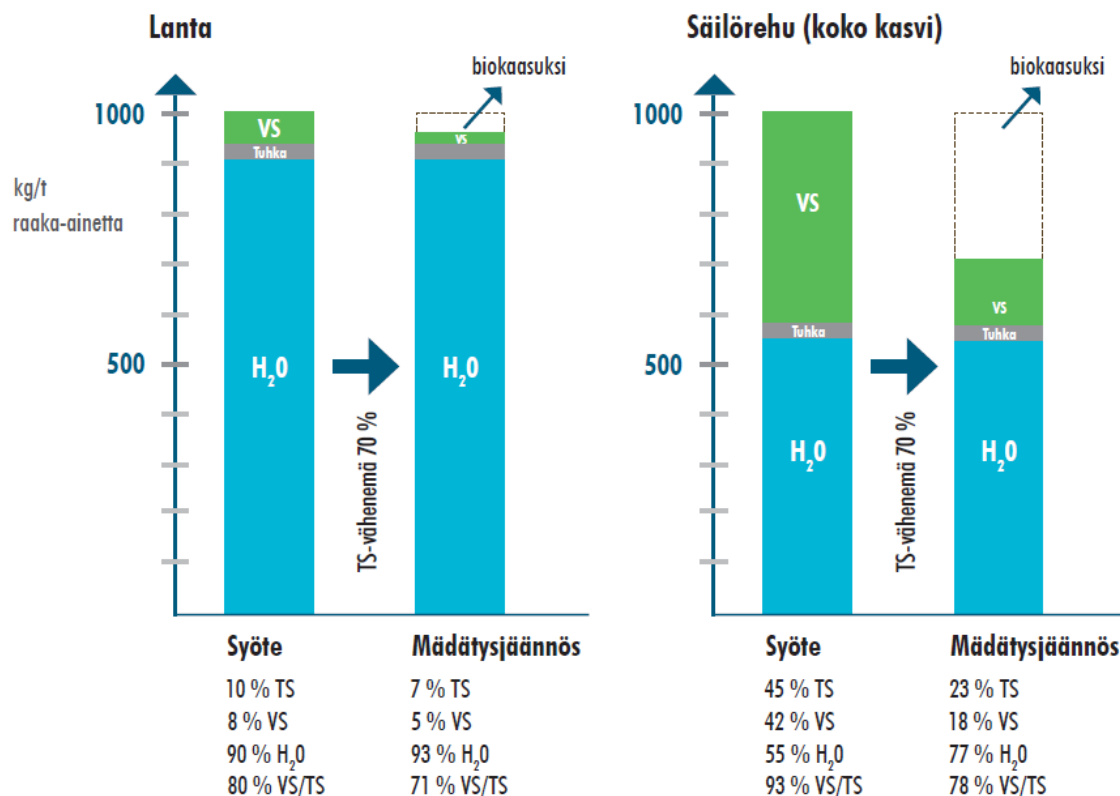
Biokaasuprosessia voidaan tehostaa hyvällä esikäsittelyllä, kuten materiaalin murskaamisella ja silppuamisella ennen sen syöttämistä reaktoriin, millä saavutetaan parempi kaasuntuotto. (Kymäläinen, M. & Pakarinen. 2015, 21–23; Luostarinen 2013, 13.)

Syötteen kokonaismassa ilmoitetaan yleensä märkäpainona WW (wet weight), TS (total solids), VS (volatile solids) sekä tuhka, mikä on sama kuin epäorgaaninen aine. Kuviossa 3 selviää materiaalin massan sisältö.



KUVIO 3. Materiaalin massan koostumus. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 23.)

Biokaasu muodostuu kuiva-aine TS osuudessa olevan orgaanisen kuiva-aineen VS hajotessa, josta muodostuu biokaasua tuhkan jäädessä mädätysjäännökseen. Kuvio 4. näkee periaatteen kaasun muodostuksesta. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 24.)



KUVIO 4. Esimerkki kahden erilaisen syötteen koostumus ja massa muutoksista Biokaasuprosessissa. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 24.)

Biokaasulaitoksen metaanintuottopotentiaali BMP ilmaisee syötteen kaasuntuottopotentiaalin. Se ilmoitetaan yleensä yksikössä $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{t VS}$, normaalikuutio metaania orgaanisen aineen tonnia kohti, ja $\text{BMP Nm}^3 \text{CH}_4/\text{t TP}$ normaalikuutio metaania tuorepainotonna kohti. Taulukko 2 esitetty yleisimpien materiaalien metaanintuotto potentiaali.

TAULUKKO 2. BMP Metaanintuotto potentiaali (Luostarinen 2013, 13–14; Omat laskelmat KWh muunnos, 2023.)

Materiaali	BMP $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{t VS}$ Metaanintuottopotentiaali orgaanisesta aineesta	BMP $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{t TP}$ Metaanintuottopotentiaali tuorepainosta	Energia sisältö KWh. KWh $1\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{t TP} = 10$ KWh
Naudan lietelanta	120–300	10–20	100–200
Naudan kuivalanta	126–250	24–55	240–550
Sian lietelanta	180–490	12–24	120–240
Sian kuivalanta	162–270	33–39	330–390
Kanan kuivalanta	150–300	42–156	420–1560
Nurmi	370–380	72–85	720–850
Säiliörehu	306–372	72–104	720–1040
Ruokohelpi	253–351	47–116	470–1160
Olki	240–380	199–260	1990–2600
Ruokajäte	300–500	130	1300
Puhdistamoliete	220–430	10–32	100–320
Lihanjalostuksen sivutuotteet	500–900	100–300	1000–3000

2.2 Biokaasulaitos laitostyyppi

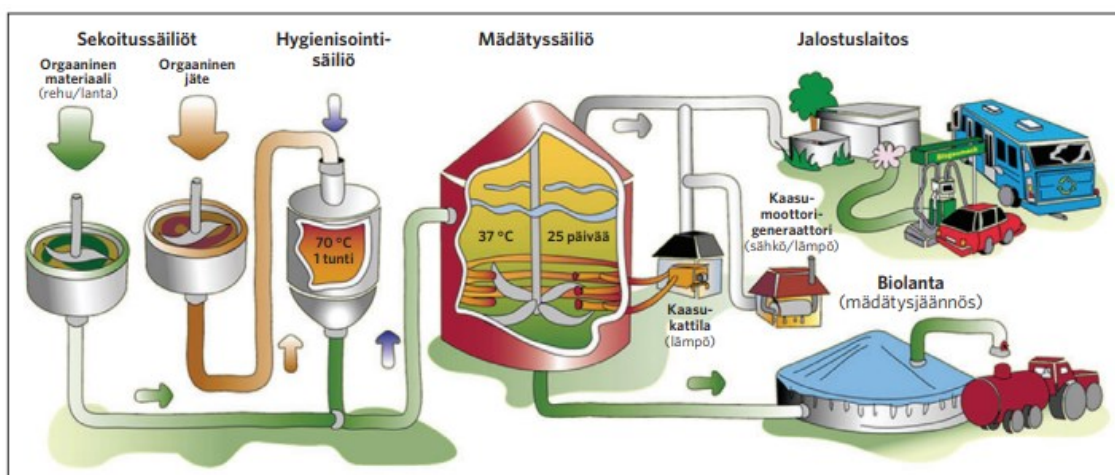
Biokaasulaitos toimii yleensä samalla prosessivaiheistuksella riippumatta laitoksen koosta. Prosessi alkaa syötteen vastaanotosta ja varastoinnista, johon voi kuulua myös esikäsitteily. Tämän jälkeen syöte syötetään biokaasuprosessin reaktoriin, minkä jälkeen mädäte kerätään välivarastoon odottamaan käyttöä tai käsitteilyä ennen vientiä lannoitteeksi pellolle.

Biokaasulaitokset jaetaan yleensä kahteen päätyyppiin: kuiva- ja märkäprosessiin, jotka eroavat toisistaan syötteen kuiva-ainepitoisuuden perusteella. Märkäprosessissa käytetään nestemäisiä tai lietemäisiä syöttömateriaaleja, joiden kiinteäainepitoisuus on yleensä enintään noin 15%. Kuivaprosessissa puolestaan syöttöaineisto on enemmän kiinteää, ja sen kuiva-ainepitoisuus vaihtelee yleensä välillä 20–40 %. (Kymäläinen. & Pakarinen. 2015, 82)

2.2.1 Märkäprosessi

Täysin sekoitettu jatkuvatoiminen reaktori (CSTR = Continuous Stirred Tank Reactor) on yleisin käytössä oleva ratkaisu. Kuva 1 näyttää yleiset vaiheet märkäprosessissa. Märkäprosessit toimivat usein jatkuvatoimisina, mikä tarkoittaa säännöllistä syötteen lisäämistä reaktoriin ja mädänteiden poistamista tietyin aikavälein, jotta kaasun tasainen muodostuminen olisi mahdollista. Reaktorissa on sekoituslaitteisto, joka varmistaa massan tasaisen sekoittumisen. (Kymäläinen. & Pakarinen. 2015, 82–83)

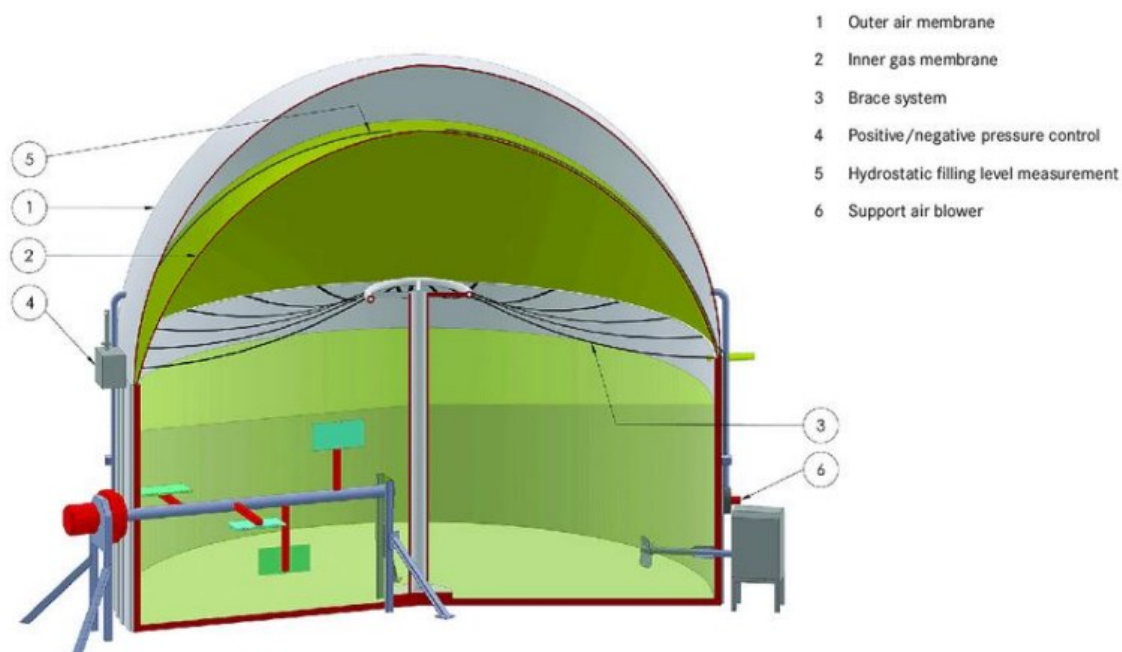
Märkäprosessissa kuiva-ainepitoisuus on yleensä alle 15 %, mikä mahdollistaa syötteen ja mädänteiden pumppaamisen reaktoriin ja niiden tasaisen sekoittumisen reaktorissa. Yleensä massan kuiva-ainepitoisuus on välillä 2–12 %. Reaktoriin voidaan lisätä kuivia ainesosia erillisellä syöttölaitteella, tai pienentää ja sekoittaa niitä mädätteeseen ja pumpata seos sitten reaktoriin. (Kymäläinen. & Pakarinen. 2015, 82–83)



KUVA 1. Täyssekoitteinen märkämädättämö mesofiilinen prosessi. (Biokaasun tuotanto maatilalla 2013, 15.)

Reaktorin katto voidaan rakentaa kahdesta eri membraanikalvosta, joista ylempi toimii sääsuojana, ja alempi kalvo toimii kaasuväestönä. Alempi kalvo joustaa mahdollistaen kaasutilavuuden muutokset. Kalvojen välissä on ylipainepuhallin, joka pitää ylemmän kalvon muodossaan. Ilma kalvojen välissä toimii myös lämmöneristeenä. Jos reaktoriin rakennetaan kiinteä katto, kaasun varastointi täytyy hoitaa muulla tavalla.

Märkäprosesseja on rakennettu monessa eri koossa, ja ne ovat osoittautuneet toimiviksi ratkaisuksi (Katso Kuva 2). Märkäprosessi on yleisin käytössä oleva tekniikka biokaasulaitoksilla Suomessa. (Kymäläinen. & Pakarinen. 2015, 82–83)



KUVA 2. Jatkuvatoiminen märkämädätys reaktori. (Hiitelä, J. n.d.)

2.2.2 Kuivaprosessi

Kuivaprosessin toteutusvaihtoehtoina käytetään panos- ja jatkuvatoimista reaktoria.

Panostekniikalla toimivassa reaktorissa se ensin täytetään, jonka jälkeen odotetaan reaktion tapahtumista, ja tyhjennetään reaktion päätyttyä. Sen jälkeen se täytetään uudella panoksella. Panosreaktorissa syötettä ei sekoiteta prosessin aikana. Biokaasun muodostuminen alkaa hitaasti, kiihtyy keskivaiheilla ja vähenee loppuvaiheessa. (Kymäläinen. & Pakarinen. 2015, 86)

Jatkuvatoiminen kuivaprosessi toteutetaan yleensä vaakasuorassa sylinterimäisessä reaktorissa, jossa käytetään tulppavirtausta (Katso Kuva 3). Syöttö tapahtuu yhdestä päästä ja purku toisesta päästä reaktion lopussa. Reaktorissa on sekoituslaitteisto, ja rejektiä kierrätetään uuden syötteen päälle ylläpitämään tehokasta reaktiota. Tämä reaktortyyppi mahdollistaa hyvän kuormitettavuuden, ja sitä käytetään yleisesti suurissa laitoksissa, kuten yhdyskuntien biojätteiden käsittelyssä ja vastaavissa materiaaleissa. (Kymäläinen. & Pakarinen. 2015, 86)



KUVA 3. Tulppavirtaus reaktori. (Kymäläinen. & Pakarinen. 2015, 86)

Kuivaprosessin etuna märkäprosessiin verrattuna on pienempi reaktorikoko tuotonnilta syötettävää materiaalia kohti. Kuitenkin kuivaprosessin hallinta on osoittautunut vaikeammaksi kuin märkäprosessissa, mikä on hidastanut niiden yleistymistä. Tämän haasteen ratkaisemiseksi tehdään jatkuvaa kehitystyötä. (Kymäläinen. & Pakarinen. 2015, 86)

2.3 Reaktorin lämpötila

Biokaasuprosessit jaetaan kolmeen ryhmään lämpötilojen perusteella (ks. Taulukko 3). Psykrofiilissä prosessissa kaasun muodostuminen on hidasta ja vähäistä. Useimmat biokaasulaitokset toimivat mesofiilissä lämpötila-alueella, joka on lähellä märehitijöiden ruuansulatusbakteerien toimintalämpötilaa. Biokaasun muodostuminen mesofiilissä lämpötila-alueella on tehokasta, ja prosessin ylläpitäminen vakaana on kohtalaisen helppoa. (Biokaasun tuotanto maatilalla 2013, 5–6.)

Termofiilissä lämpötila-alueessa biokaasun muodostuminen tapahtuu nopeammin ja kestää 33–50 % vähemmän aikaa verrattuna mesofiiliseen prosessiin. Kuitenkin termofiilinen prosessi on herkempi häiriöille verrattuna mesofiiliseen ja vaatii enemmän energiaa korkeamman lämpötilan takia. (Biokaasun tuotanto maatilalla 2013, 5–6.)

TAULUKKO 3. Biokaasuprosessin lämpötila-alueet (Biokaasun tuotanto maatilalla 2013, 5)

Biokaasuprosessi	Lämpötila °C	Syötteen viipymä aika vrk.
Psykrofiili	alle 25	70–80
Mesofiili	32–42	30–40
Termofiili	50–60	15–20

Anaerobinen biokaasuprosessi itsessään tuottaa vain vähän lämpöä, joten lämmöntuotto laitoksella toteutetaan yleensä biokaasulla. Lämmön siirtämiseen reaktoriin käytetään yleisesti lämmitettyä vettä, jota kiertää reaktorivaipassa tai reaktorin seinälle rakennetussa lämmitysputkistossa. Lämpöenergia kerätään poistuvasta mädätteestä talteen lämmöntalteenottojärjestelmällä ja siirretään syötteeseen tai reaktorin lämmitykseen. (Kymäläinen. & Pakarinen. 2015, 84)

Kuivareaktorissa lämmönsiirto toteutetaan yleensä vaipanlämmityksellä sekä rejektinesteen kierrätyksellä ja levittämällä rejekti kuiva-aineen sekaan. (Kymäläinen. & Pakarinen. 2015, 84)

2.4 Mädätysjäännös

Mädätysjäännöksen varastointiin on järjestettävä sopiva varastopaikka. Maatilojen märkäprosessin mädätysjäännöksestä saadaan lannoitetta, jota voidaan levittää pellolle samalla tavoin kuin lietelantaa. Sitä voidaan myös jalostaa lannoitevalmisteiksi. Eläinperäisen syötteen (kuten teurasjätteen) ja lannoitteen myynti tilan ulkopuolelle vaatii hygienisointia, mikä lisää laitevaatimuksia ja kustannuksia. Usein tilalla käytetään lannoitetta omille pelloilleen, jolloin hygienisointilaitteisto ei ole tarpeen. Mädätysjäännös voidaan erotella märkään ja kuivaan jakeeseen, jolloin fosfori ja typpi voidaan erotella paremmin ja levittää tarpeen mukaan pelloille.

Jatkuvatoimisen kuivaprosessin mädätysjäännöksen koostumus voi hankaloittaa lannoitekäyttöä. Jatkokäsittely on yleensä välttämätöntä, koska se ei sovellu käytössä oleville levitystekniikoille. Mädätysjäännös voi olla liian nestemäistä eikä pysy kasassa, joten se ei sovellu lietalannan tai kuivalannan levityslaitteisiin. Se voi olla tahmeaa, epätasalaatuista ja vaikeasti varastoitavaa. Mädätyksen separointi on yksi vaihtoehto, josta ei kuitenkaan ole paljon kokemuksia. Sekoittaminen tukiaineeseen ja kompostointi on yksi vaihtoehto, mutta siinä menetetään typpeä, joka on arvokas lannoitteessa. Tärkeänä kehityskohteena pidetäänkin jatkuvatoimisen kuivaprosessin mädätysjäännöksen käyttökelpoisuuden parantamista. (Kymäläinen. & Pakarinen. 2015, 86.)

Panostoimisen kuivaprosessin mädätysjäännös voi olla epätasalaatuista ja huonosti hajonnutta, joten se yleensä kompostoidaan. Tämä kompostointi tehdään yleensä aumassa, missä typpeä menetetään ja syntyy ammoniakkipäästöjä. Tätkin tekniikkaa kehitellään parhaillaan. (Kymäläinen. & Pakarinen. 2015, 88.)

2.5 Kaasun hyödyntäminen

Laitoksessa tuotettua biokaasua voidaan käyttää moniin eri tarkoituksiin. Sitä voidaan käyttää lämmöntuotantoon, sähkön ja lämmön yhteistuotantoon CHP (Combined Heat and Power) -laitteistolla, jalostaa liikennepolttoaineeksi tai syöttää maakaasuverkostoon. (Biokaasun tuotanto maatilalla 2013, 18–20.)

Maatilakokoluokan laitoksissa biokaasuntuotanto ylittää yleensä tilan lämpöenergian tarpeen moninkertaisesti erityisesti kesäaikaan, jolloin tarve on yleensä pienempi. Tästä syystä monet maatilakokoiset laitokset ovat siirtyneet tuottamaan sekä sähköä että lämpöä CHP-laitteistolla, ja myymään ylimääräisen sähkön sähköyhtiölle. (Biokaasun tuotanto maatilalla 2013, 18–20.)

Viime aikoina on yleistynyt käytäntö, jossa biokaasua johdetaan putkea pitkin lähellä sijaitseville energian tarvitsijoille. He voivat hyödyntää tätä biokaasua esimerkiksi tehtaissa tai yhdyskuntien sähkön- ja lämmöntuotannossa. (Biokaasun tuotanto maatilalla 2013, 18–20.)

2.6 Jälkikaasuallas

On suositeltavaa rakentaa jälkikaasuallas jatkuvatoimisiin biokaasulaitoksiin. Reaktorista poistettavasta mädätysjäännöksestä muodostuu vielä noin 20 % koko tuotantomäärästä, joka voidaan talteen keräämällä hyödyntää. Kun mädätysjännös johdetaan kattamattomaan altaaseen, se saattaa aiheuttaa haitallisia metaanipäästöjä, jotka voivat heikentää laitoksen positiivisia ympäristövaikutuksia. Jälkikaasuallas ei tarvitse erillistä lämmitystä, vaan se toimii välivarastona. Usein sitä voidaan hyödyntää käyttämällä tilan vanhaa lietevarastoa ja kattamalla se jälkikaasualtaaksi. (Biokaasun tuotanto maatilalla 2013, 15.)

2.7 Laitteisto

Työssä käytettiin valmiiksi valittua laitekokonaisuutta, joka oli valittu työntilaaajan taholta. Markkinoilla on tarjolla monenlaisia laitteistokokonaisuuksia eri tarpeisiin.

Lämpökattila

Yksinkertaisin tapa hyödyntää kaasua on polttaa se kaasukattilassa lämmöksi. Laitteistona käy tavanomainen lämmityskattila, johon on asennettu biokaasulle soveltuva poltin.

CHP

CHP-laitos tuottaa noin 70 % lämpöä ja noin 30 % sähköä kaasun sisältämästä energiasta. Osa kaasun sisältämästä energiasta poistuu lämpöhäviöinä moottorissa, joita ei pysty hyödyntämään. Biokaasua käytettäessä CHP-voimalaitoksia pidetään hiilineutraaleina ja ympäristöystävällisenä energiantuotantomuotona. (Biokaasun tuotanto maatilalla 2013, 18.)

Lämmöntalteenotto

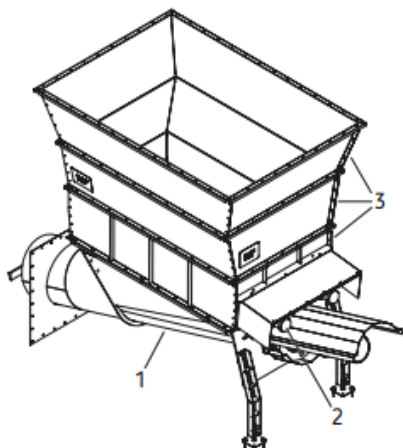
Lämmöntalteenottolaitteistolla kerätään reaktorista poistettavan mädätteen lämpöenergiaa talteen erilaisilla lämmönvaihtimen tekniikoilla. Tämä voidaan toteuttaa suoraan välittämällä lämpöä, tai hyödyntämällä väliainetta riippuen valitusta laitteistosta ja sen teknisistä ominaisuuksista.

2.7.1 Syöttölaiteratkaisu

Kiinteän materiaalin syöttö reaktoriin toteutetaan yleensä kahdessa vaiheessa. Esisyöttölaite toimii puskurivarastona, ja mallin mukaan määräytyy käytettävissä oleva tilavuus. Esisyöttölaite kuljettaa syötteen yleensä ruuvilla, ketjukuljettimella tai puskulevyllä eteenpäin. Esisyöttölaitteessa voi olla esimurskaus ja siirto, tai pelkkä siirto seuraavaan vaiheeseen. Reaktoriin syöttö on toteutettu yleensä ruuvilla, tai massaan on sekoitettu reaktorista otettavaa mädätettä, jolloin se pystytään siirtämään pumppaamalla reaktoriin.

Easyfeeder solo

EasyFeeder Solo on Biogastechnik Sud -yrityksen valmistama esimurskain, joka toimii samalla varastona kuivajakeelle, joka syötetään laitteeseen. Lisävarusteena laitteeseen voi ostaa lisäkauluksen, jonka avulla varastotilaa voidaan kasvattaa 10 m³:lla lisää syötettävää materiaalia varten. Kuvassa 5 Easyfeeder solo. (Biogastechnik n.d.)



KUVA 5. Easyfeeder solo (Biogastechnik n.d.)

Pre-mix

Pre-mix on Vogelsang GmbH & Co yrityksen valmistama syöttölaite easyfeederin jatkoksi kytkettäväksi. Pre-mix silppuaa kuiva-aineen pieneksi jakeeksi ja imee reaktorista mädätettä, joka sekoitetaan ja pumpataan reaktoriin putkilinjaa pitkin. Kuvassa 6 Premix. (Vogelsang n.d.)



KUVA 6. Premix (Vogelsang n.d.)

3 Layout

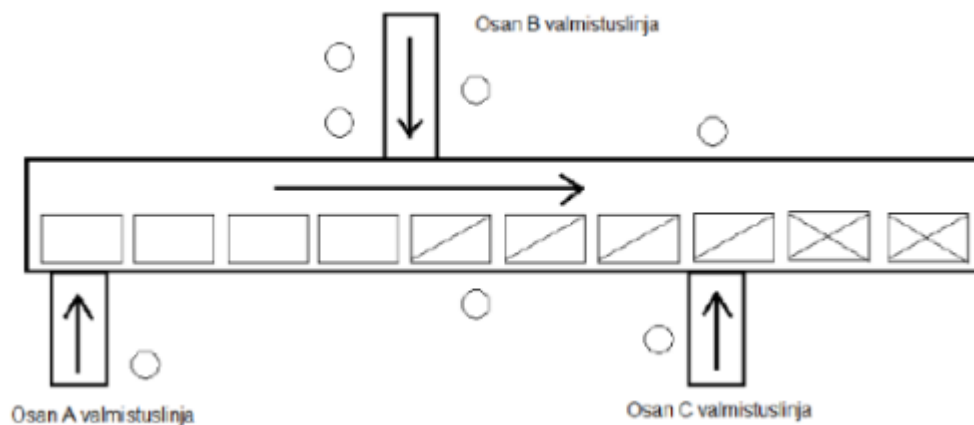
Layout on vakiintunut termi, millä tarkoitetaan tehtaaseen sijoitettujen koneiden, laitteiden, varastopaikkojen ja kulkureittien sijoittelua. Layout voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin: tuotantolinjalayout, funktionaalinen layout, solulayoutiin.

(Haverila ym.2009. 475.)

3.1 Tuotantolinja layout

Koneet ja laitteet on sijoitettu tuotteen valmistusjärjestyksen mukaisesti. Tuotantolinjalla valmistetaan tiettyä tuotetta, ja linja on usein automatisoitu kappaleen käsittelyn ja valmistuksen osalta. Työnkulku on selkeää, ja mekaanisia kuljettimia käytetään usein työvaiheiden välillä. Tuotantolinjalayout on tyypillinen suurten volyymien ja korkean tuotannon kuormitusasteen sovelluksissa. Tuotantolinjan rakentamiskustannukset ovat yleensä korkeat, mutta yksikköhinta saadaan alhaiseksi suuren kapasiteetin ansiosta. Kuviossa 5 tuotantolinja malli. (Haverila ym. 2009, 475-476).

Tuotantolinja on herkkä häiriöille, sillä pienikin keskeytys voi pysäyttää koko tuotantolinjan. Laadunvalvonta tuotantolinjalla on erittäin tärkeää, koska linja kykenee tuottamaan nopeasti suuren määrän viallisia tuotteita. Kapasiteetin lisääminen linjalle myöhemmin voi olla haasteellista. Yleensä tuotantolinjaa ohjataan kokonaisuutena, mikä voi rajoittaa joustavuutta muutosten tekemisessä. (Haverila ym. 2009, 475-476).



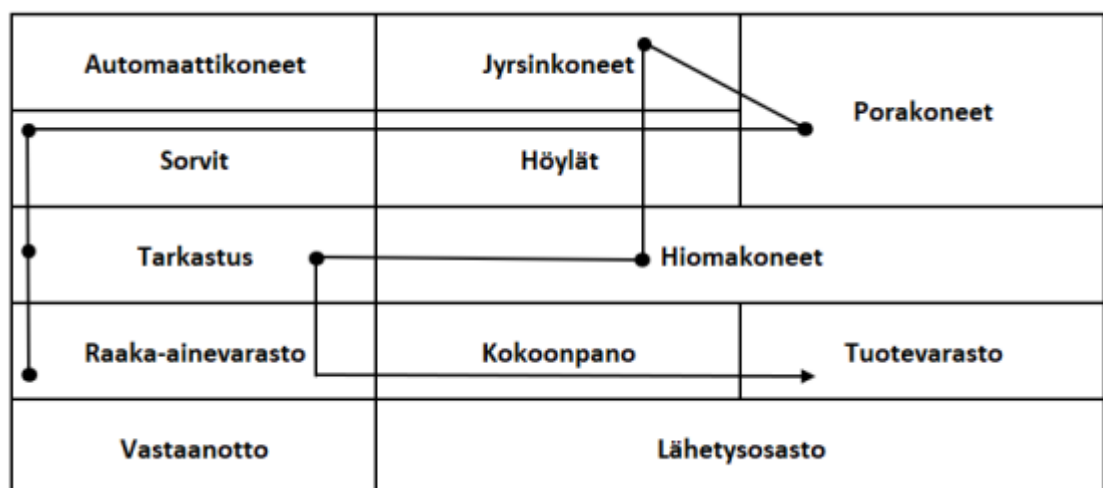
KUVIO 5. Tuotantolinja layout (Haverila ym. 2009, 476)

3.2 Funktionaalinen layout

Funktionaalisisessa layoutissa (kuten kuviossa 6) koneet, laitteet ja työpisteet ryhmitellään niiden samankaltaisuuden perusteella, esimerkiksi sorvaamo, maa-laamo ja hiomo. Tätä layoutia voidaan kutsua myös teknologiseksi, koska se perustuu koneiden tuotantoteknologian samankaltaisuuteen.

Funktionaalisisessa layoutissa tuotantomäärän ja valmistettavan tuotteen vaihtaminen sekä kappalemäärän muuttaminen on yleensä sujuvampaa verrattuna tuotantolinjalayoutiin.

Funktionaalisen layoutin tuotannonohjaus toimii eri koneille ja työpisteille jonotusperiaatteella. Yksittäinen kone valmistaa tuotteita sarjana tai yksittäisinä kappaleina, jotka kuljetetaan seuraavaksi tarvittavalle koneelle, vaikka se ei olisi seuraavana linjastossa. Tämä saattaa hankaloittaa automaation käyttöä ja kasvattaa käsittely- ja kuljetusmatkoja. Lisäksi laadunhallinta voi olla haastavaa suurien välimatkojen ja välivarastojen käytön vuoksi. Funktionaalisen ja tuotantolinja layouttien vertailu taulukossa 4.



KUVIO 6. Funktionaalinen layout (Haverila ym.2009. 477)

TAULUKKO 4. Funktionaalisen ja tuotantolinjalayoutin vertailu (Haverila ym.2009. 477)

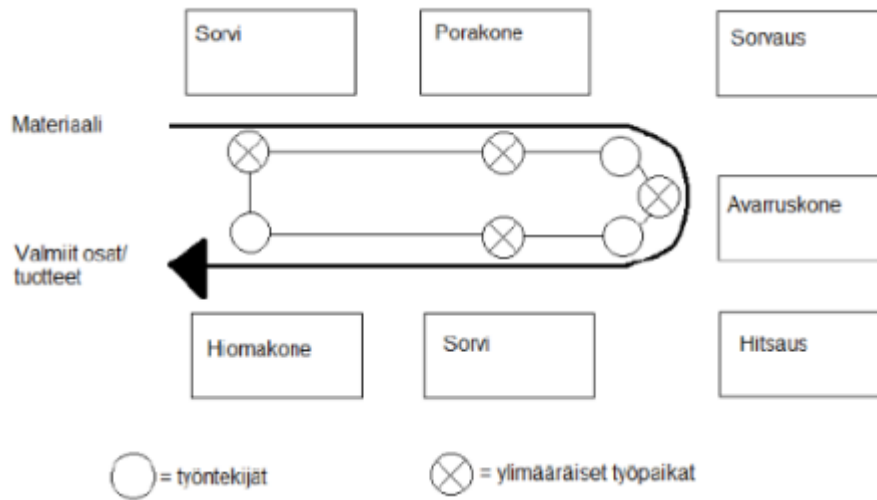
Funktionaalinen layout	Tuotantolinjalayout
-suuret yksikkökustannukset	-pienet yksikkökustannukset
-paljon keskeneräisiä töitä	-vähän keskeneräisiä töitä
-joustava tuotepolitiikka	-jäykkä tuotepolitiikka
-helppo rakentaa	-vaikea rakentaa
-pieni häiriöalttius	-suuri häiriöalttius
-tuotannonohjaus vaikeaa	-tuotannonohjaus helppoa
-joustava kapasiteetin lisääminen	-joustamaton kapasiteetin lisääminen
-kuormitusaste 60–90 %	-kuormitusaste 80–100 %

3.3 Solulayout

Solulayout muodostaa itsenäisiä koottuja ryhmiä eri koneista ja eri työpisteistä, jotka valmistavat eri osia tai suorittavat eri työvaiheita (kuvio 7). Solulayout sijoituu funktionaalisen ja tuotantolinjamallien väliin.

Solulayout on huomattavasti nopeampi kuin funktionaalinen layout suorittamaan työvaiheita. Materiaalivirta on yksinkertainen, eikä siinä synny hidastavia välivarastoja. Solu valmistaa joustavasti sille suunnitellut tuotteet, ja eri tuotteiden valmistaminen solussa on helposti toteutettavissa. Solu pystyy joustamaan tuotantolinjaan verrattuna helpommin ja kykenee tuottamaan funktionaalista mallia tehokkaammin. Tuotantomäärien ja eräkokojen vaihtelu voi olla suurta. Laadunvalvonta ja virheiden havaitseminen solun sisällä on helpompaa sen pienemmän koon ansiosta.

Solulayout on omassa tuoteryhmässään hyvä verrattuna funktionaaliseen järjestelmään. Kuitenkin se voi olla herkkä kuormituksen vaihteluille ja muutoksille tuotevalikoimassa.



KUVIO 7. Solulayout (Haverila ym.2009. 478).

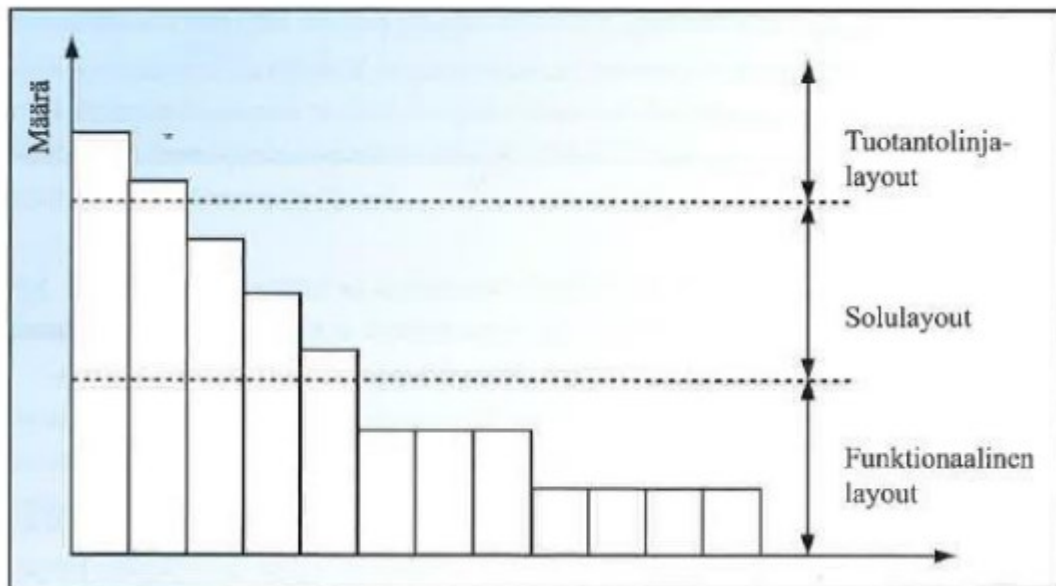
3.4 Tuotetehtaat ja verstaat

Suuret tuotantolaitokset voidaan jakaa pienempiin yksiköihin, joita kutsutaan tuotetehtaiksi tai verstaiksi. Nykyään termi "tuotetehdas" on yleisemmin käytössä. Tuotetehdas on tehtaan sisällä toimiva oma yksikkönsä, jossa työskentelee yleensä noin 30–100 henkilöä. Tuotetehtaalla on usein oma johto sekä vastuu tuotannon ja materiaalitoimintojen suunnittelusta.

Tuotetehtaalla pyritään yksinkertaistamaan tuotannonohjausta ja nostamaan tuottavuutta. Tuottavuuden parantaminen tapahtuu erikoistumalla tietyille tuotteille tai tuotantoprosesseille. Lisäksi tuotetehtaalla on usein oma tulosvastuu ja velvoitteet tehtaan johdolle. Tuotetehtaan ohjaus on yleensä suhteellisen selkeää, sillä se toimii sisäisenä varantoimittajana, jolta tilataan tarvittavat tuotteet. Tuotetehdas toimii kuin suuri tuotantosolu, jolla on enemmän valtuuksia ja vastuita kuin perinteisellä osastolla.

3.5 Layoutin valinta

Kun harkitaan layout-tyyppin valintaa, päätökseen vaikuttavat tuotevalikoiman laajuus sekä tuotettavan määrän suuruus, kuten esitetty Kuviossa 8. Tuotantolinjalayout sopii parhaiten suurten määrien samanlaisten tuotteiden valmistukseen. Funktionaalinen layout valitaan, kun tuotettavien eri osien kappalemäärä on suuri, mutta tuotantomäärät ovat pieniä. Solulayout valitaan silloin, kun valmistetaan toistuvasti erilaisia tuotteita, mutta määrät ovat niin pieniä, ettei tuotantolinjan luominen ole kannattavaa. Solussa voidaan valmistaa tuotteita joustavammin erilaisten tuotteiden valmistukseen verrattuna tuotantolinjaan. (Haverila ym.2009. 479).



KUVIO 8. Tuote-määrä-analyysi. (Haverila ym.2009. 479)

3.6 Painoarvotaulukko

Painoarvotaulukkoa käytetään valittaessa layout-vaihtoehtoja, joissa eri kriteereillä on erilainen painoarvo valintaprosessissa. Korkeampi kerroin annetaan tärkeämmille tai prioriteettisille kriteereille. Painoarvotaulukon avulla saadaan painotettu tulos, jossa otetaan huomioon eri kriteerien tärkeys suhteessa toisiinsa vaihtoehtojen vertailussa. Tämä auttaa päätöksenteossa, kun arvioidaan eri layout-vaihtoehtoja ja niiden soveltuvuutta tiettyihin tarpeisiin tai tavoitteisiin. Taulukossa 4 selviää laskentatapa.

4 KOHTEEN ESITTELY

Työtä lähdettiin tekemään tuotantotila layout mallilla. Tuotantotilamallissa laitteistot sijoitetaan järjestelmällisesti siten, että ne noudattavat tuotteen kulkureittiä ja optimoivat tilan käytön. Yrityksen edustajan kanssa selvitettiin laitteiston tarvitsemat tilatarpeet.

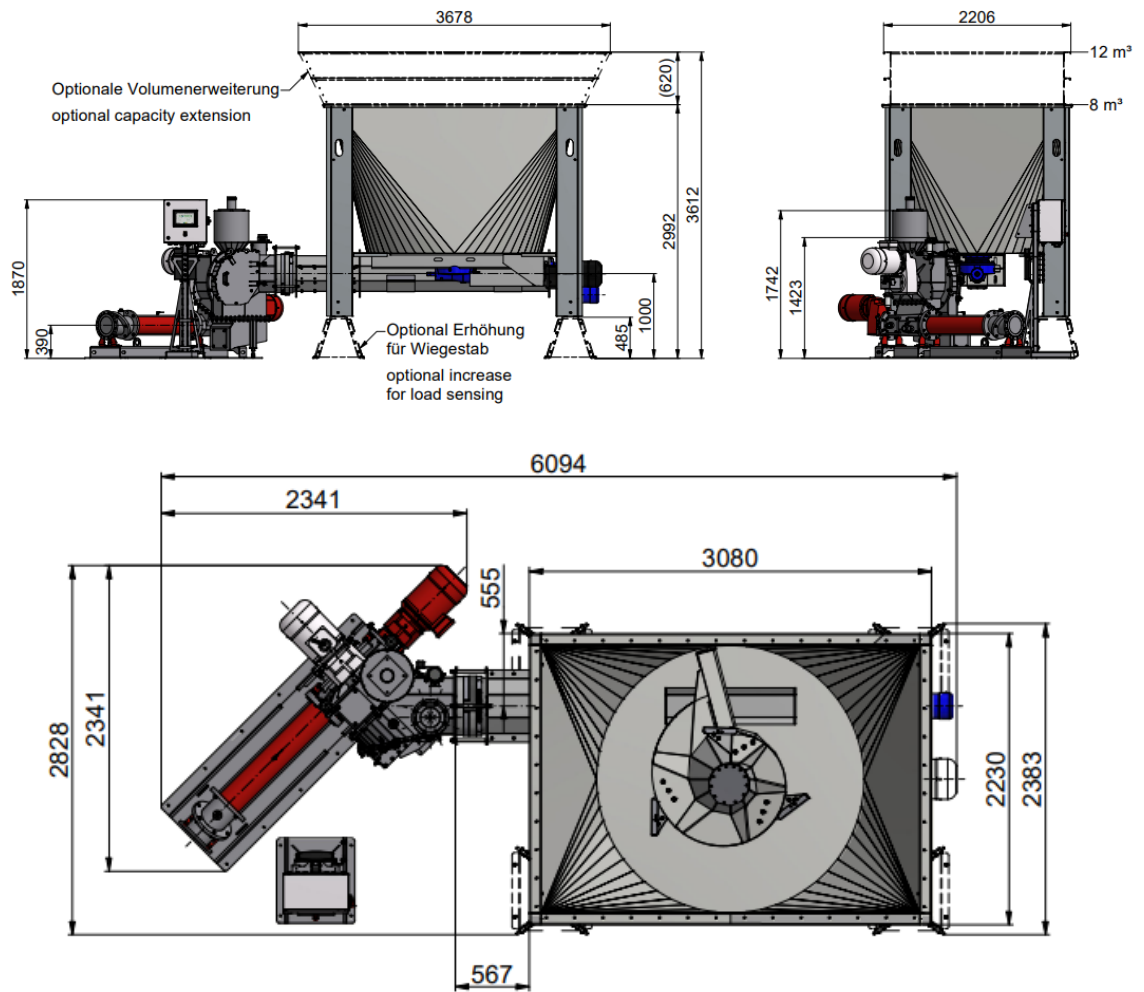
Pohjakuvan avulla voidaan hahmotella laitteistojen asennusjärjestystä, erityisesti syötteen kulkureitin kannalta. Tämä auttaa suunnittelemaan optimaalisen layoutin, joka mahdollistaa tehokkaan ja sujuvan tuotantoprosessin.

Yrityksen tarve suunnitelmalle ja 3D-mallille osoittaa selvän tarpeen visualisoida ja suunnitella tuotantotila ennen varsinaista rakentamista. Näin voidaan varmistaa, että tila on optimaalinen tuotannon tarpeisiin, ja kaikki laitteet ovat järjestetty oikein ja tehokkaasti.

4.1 Laitteiston vaatima tilantarve

Laitevalinta on tehty yrityksen toimesta, ja työssä käytetään Vogelsang:in valmistamaa Pre-mix syöttölaitetta sekä Biogastechnik:in valmistamaa Easyfeeder solo esisyöttölaitetta. Easyfeeder solo:n valintaan vaikutti yksinkertainen rakenne sekä edullinen hinta. Laitteet voidaan yhdistää erilaiseen kulmaan toisiinsa nähdessä.

Syöttölaitteistoa varten varattiin noin. 30 m³ lattiapinta-ala. Kuva 5 on havainnekuva, jossa syöttölaite on yhdistettynä premix:iin Syöttölaitteen täyttämistä varten rakennuksen kulmaan tehtiin tilavaraus, jonka ansiosta syöttölaitteen täyttäminen onnistuu avattavan kattorakenteen avulla.



KUVA 5. Syöttölaite ja esisyöttö havainnekuva (Vogelsang GmbH)

Sähkö-, ilma-, ja automaatiotila rakennetaan n.25m³ tilavarauksella, tilassa olevat laitteet pyritään suojamaan liialta ja pölyltä sijoittamalla tila mahdollisimman kauaksi syöttölaitteesta.

Prosessitilaa varten täytyy varata n. 40m³ tilavaraus. Tilaan sijoitetaan lämmön- talteenotto laitteisto sekä prosessiputkia. Näillä pinta-ala tiedoilla lähdettiin piirtämään pohjakuvia, joita arvioitiin painoarvotaulukolla ja yrityksen edustajan avustuksella. (Mylläinen. 2023)

4.2 Painoarvotaulukko

Painoarvotaulukoon merkittiin layout vaihtoehtojen ominaisuudet, ja painotettiin kaavaan merkityllä painoarvolla.

1. Putkien asentaminen

- Mahdollisimman vähän mutkia (toimivuus)
- Mutkat eivät saa olla yli 90 asteen kulmassa
- Asennustyöt nopeus (kustannus säästö)

2. Visuaalinen ilme

- Muotoilun onnistuminen

3. Rakennuksen hinta ja skaalautuvuus

- Yksinkertainen muoto kustannustehokas
- Toimivuus eri rakennuspaikoilla

4. Huolto ja kulkureitit

- Tilojen puhtaanapito
- Putkien huolto

5. Tilan muokattavuus

- Tilantarpeen muokattavuus

6. Kattoluukku

- Toteutustapa
- Talviolosuhteiden huomiointi
- Tiiveyden toteutus

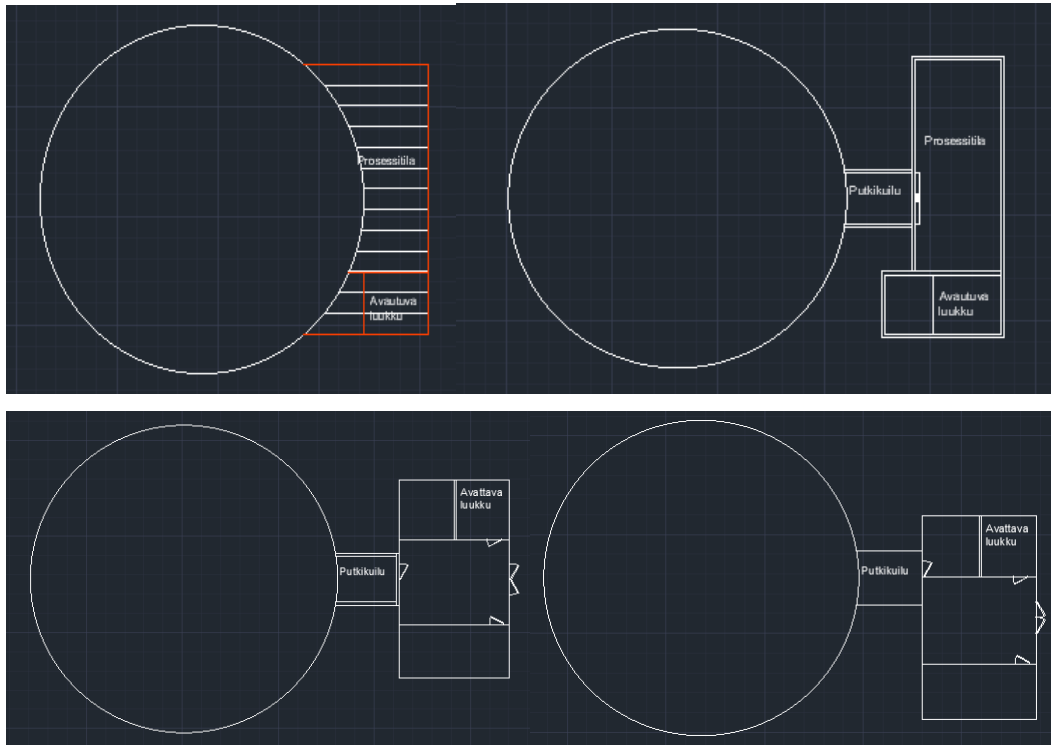
TAULUKKO 4. Layout-vaihtoehtojen arvioinnissa käytetty painoarvotaulukkoa.

Vaihtoehdot A = 3, B = 2, C = 1, D = 0 toimivat kertoimina.

Arviointinäkökulma	Painoarvo	Versio 1.		Versio 2.		Versio 3.		Versio 4.	
1. Putkien asentaminen	20	A	60	C	20	B	40	A	60
2. Visuaalinen ilme	5	A	15	C	5	B	10	B	10
3. Rakennuksen hinta ja skaalautuvuus	20	D	0	C	20	B	40	B	40
4. Huolto ja kulkureitit	20	A	60	B	40	C	20	B	40
5. Tilan muokattavuus	20	D	0	C	20	B	40	B	40
6. Kattoluukku	10	B	20	B	20	A	30	A	30
Tulo			155		125		200		220

Painoarvotaulukon tulokseksi saatiin layout Versio 4:lle, parhaat pisteet.

Yrityksen edustajan kanssa käytiin tulokset läpi, ja edustajan mielestä vaihtoehto neljä on toteutuskelpoinen. Kuvassa 6 näkyy layout vaihtoehdot esiteltynä, ja ne on myös nähtävissä tarkemmin liitteenä työn lopussa.



KUVA 6. Layout vaihtoehdot: 1. vasemmalla ylhäällä, 2. oikealla ylhäällä, 3. vasemmalla alhaalla, 4. oikealla alhaalla.

4.3 Tulokset ja johtopäätökset

Pohjakuvaksi valittiin vaihtoehto 4, josta piirretään 3D-malli yrityksen käyttöön. Pohjakuvassa putkikuilu on keskellä reaktoria, jota pitkin reaktoriin saadaan lähes kaikki putket asennettua huollettavaan tilaan helposti verrattuna maahan upotettuihin putkiin. Joissain tilanteissa putkia tarvitsee avalla ja puhdistaa, joka on huomattavasti helpompaa tehdä putkikuilussa tarpeen niin vaatiessa.

Tekninen tila sijoitettiin putkikuiluun layout vaihtoehto 4 mukaan, josta putkikuiluun pystyy asentamaan putkia kummastakin tilasta. Kulkuaukko putkikuiluun tehtiin syöttölaitetilasta, millä tiloja saadaan jaoteltua paremmin likaisuusasteen mukaan. Putkia puhdistettaessa putkistosta tulevan syötteen/mädätteen siivoaminen likaisessa tilassa ei kuormita puhtaampaa tilaa.

Lämmöntalteenottolaitteisto asennetaan teknisentilan keskiosaan pariovien eteen, jolla saadaan lämmöntalteenottolaitteiston kanavien aukaiseminen ja puhdistaminen sisäpuolelta suoritettua rassilla. Rassissa on pitkä varsi, jolla täytyy ylettyä koko laitteiston pituudelta aukaisemaan tukkeutunut kanava.

Epäsymmetrinen harjakattoratkaisu helpottaa avattavan kattoluukun toteutusta rakennuksessa. Avattava kattoluukku talviolosuhteissa kerää lunta luukun päälle, ja luukkua avatessa lumi putoaa harjan toiselle puolelle, josta se ei pääse valumaan luukun yläpuolelle haitaten tulevaa luukun uudelleen avaamista.

Vaihtuvat keliolosuhteet Suomen talvessa ja muuttuvat lämpötilat muodostavat jäätä, joka voi rikkoa luukurakennetta. Tästäkin näkökulmasta kattorakenteen muoto toimii talviolosuhteissa.

5 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada yritykselle layout suunniteltua maatilalle. Menetelmänä työssä käytettiin tuotantolinja layoutia, missä laitteisto sijoitettiin materiaalin kulkujärjestyksen mukaan laitoksessa. Vaihtoehtojen soveltuvuutta arviointiin työnantajan edustajan kanssa, sekä tekemällä painoarvotaulukko valintojen tekemisen tueksi.

Teoriaosassa käsiteltiin biokaasulaitoksen toimintaa, josta saatiin tietoa laitoksen toiminnasta ja tarvittavasta laitteistosta. Työ rajattiin tämän kokoisessa ja tyyppisessä laitoksessa yleensä käytettävään syötteeseen ja tarvittavaan laitteistoon. Hygienisointi, separointi sekä kaasun jalostamiseen käytetyt laitteet ja tilavaraukset rajattiin pois.

Layout piirrettiin Autocad ohjelmalla, jolla tehtiin pohjakuva sekä leikkauskuva. Pohjakuvasta mallinnettiin 3-D malli Solidworks ohjelmalla yrityksen käyttöön. Biokaasulaitokseen liittyvistä laitteista ja biokaasun muodostumisen vaiheista löytyy materiaalia monista eri lähteistä. Työssä käytettiin lähteenä lähinnä julkisen tahon materiaalia niiden oletetun puolueettomuuden ja luotettavuuden takia.

Tuloksena saatiin toimiva pohjakuva, jossa on huomioitu suomen vaativat olosuhteet putkireittejä sekä avattavan kattoluukun toimintaa helpottavat ratkaisut. Putkikuilulla reaktoriin menevät putket saadaan pidettyä suojassa ja huollettua katetussa tilassa kaikkina vuodenaikoina. Epäsymmetrinen katto suunniteltiin avattavan luukun pituiseksi lyhyeltä harjanpuolelta, jolla luukun päälle satanut lumi saadaan siirrettyä harjan toiselle puolelle pois haittaamasta luukun toimintaa.

Opinnäytetyönä Biokaasulaitoksen suunnittelu maatilalle vaatii paljon tietämystä erilaisten vaihtoehtojen seulonnassa, jossa apuna sain käyttää yrityksen sisäistä tietoa hyödykseni suunnittelussa. Yritykseltä saatu sisäinen tieto on avainasemassa suunnittelutyötä helpottamassa. Työssä sain tehtyä oman layout suunnitelman tuotantolinja metodia käyttäen, ja onnistuin mielestäni työssä asetettujen rajojen puitteissa hyvin.

LÄHTEET

Al Seadi, D. Rutz, H. Prassl, M. Köttner, T. Finsterwalder, S. Volk, R. Janssen. 2008. Biogas handbook. Denmark Esbjerg. Viitattu 18.10.2023.

<https://www.lemvigbiogas.com/BiogasHandbook.pdf>

Biogastechnik Sud GmbH n.d. Biogastechnik Sud. verkkosivu. Viitattu 8.11.2023.

<https://biogastechnik-sued.de/en/home/products/feeding-technology-for-biogas-plants-easyfeeder/easyfeeder-solo/>

Biokaasun tuotanto maatilalla 2013. Helsinki: Motiva Oy. Viitattu 8.11.2023.

https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf

Haverila, M. Uusi-Rauva, E. Kouri, I. Miettinen, A. 2009. Teollisuustalous. Tampere: Hämeen kirjapaino Oy. 6 painos

Hiitelä, J. n.d. Biokaasua, mitä ja miten ? . Proagria. Verkkosivu. Viitattu 21.11.2023.

https://www.manttavilppula.fi/site/assets/files/7452238/2_bio-kaasu_agroeko_juha_hiitela.pdf

Kymäläinen M. ja Pakarinen O. 2015. BIOKAASUTEKNOLOGIA

Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen.

Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu. Viitattu 18.10.2023

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Luostarinen, S. 2013. Biokaasuteknoologiaa maatioilla 1. Helsinki: MTT Jokioinen.

Viitattu 6.11.2023. <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/481263/mttraportti113.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Myllärinen, A. toimitusjohtaja. 2023. Haastattelu 20.10.2023. Vesilahti.

Vogelsang GmbH & Co. KG n.d. Vogelsang verkkosivu Viitattu 8.11.2023

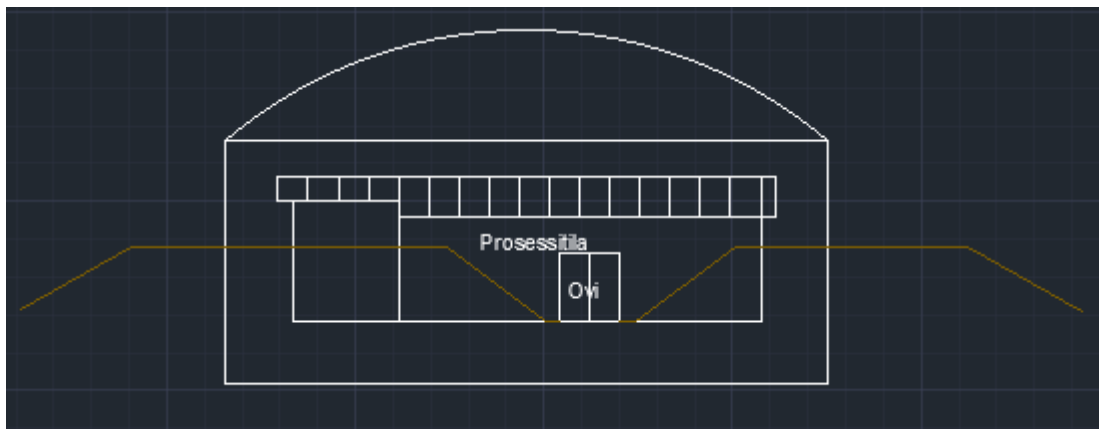
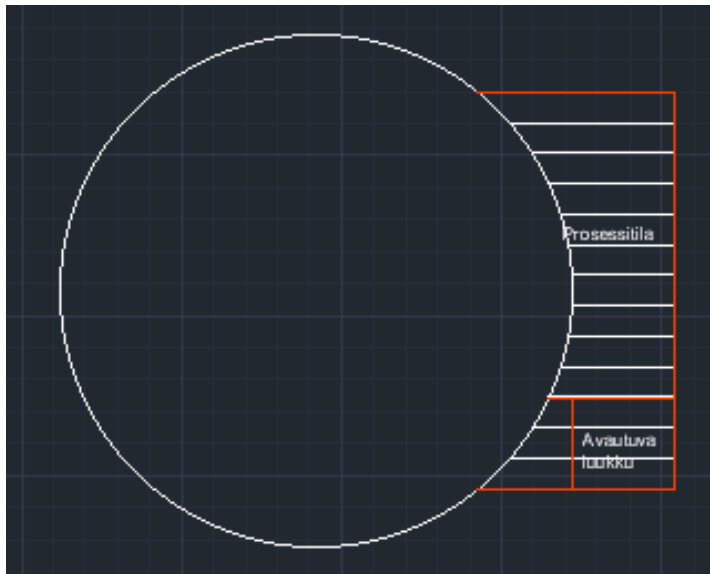
<https://www.vogelsang.info/int/>

Winqvist, E., Rikonen, P. & Varho, V. 2018. Suomen biokaasualan haasteet ja mahdollisuudet. Helsinki: Luonnonvarakeskus. Viitattu 8.10.2023.

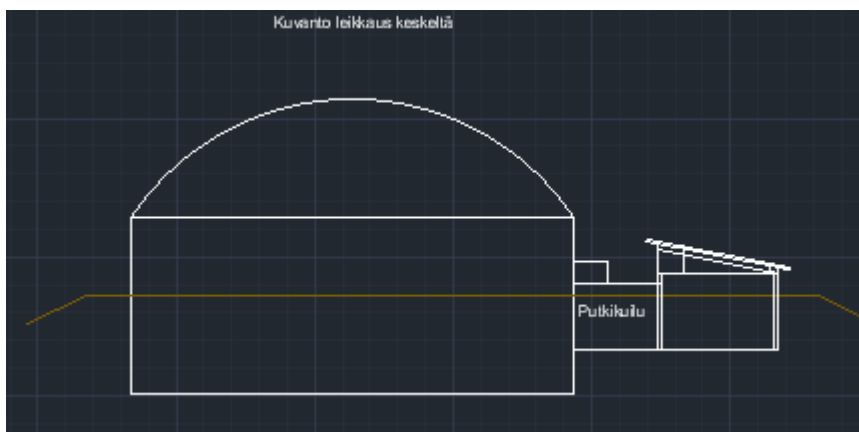
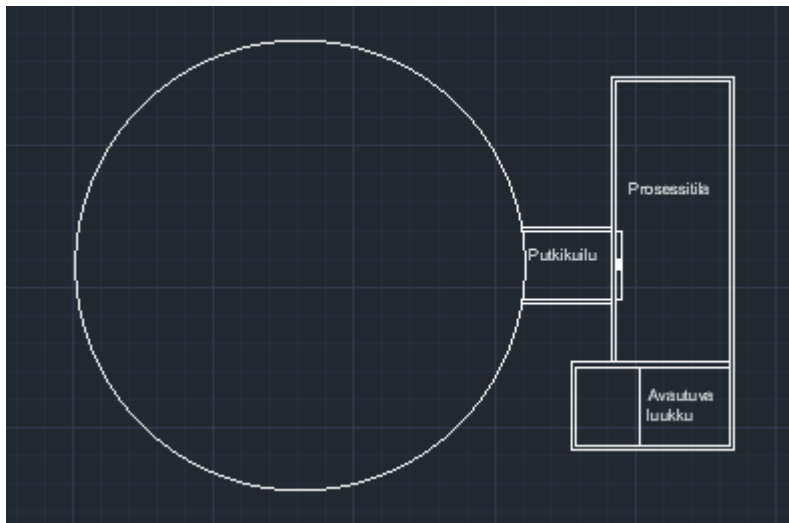
https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/542787/luke-luobio_47_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

6 Liitteet

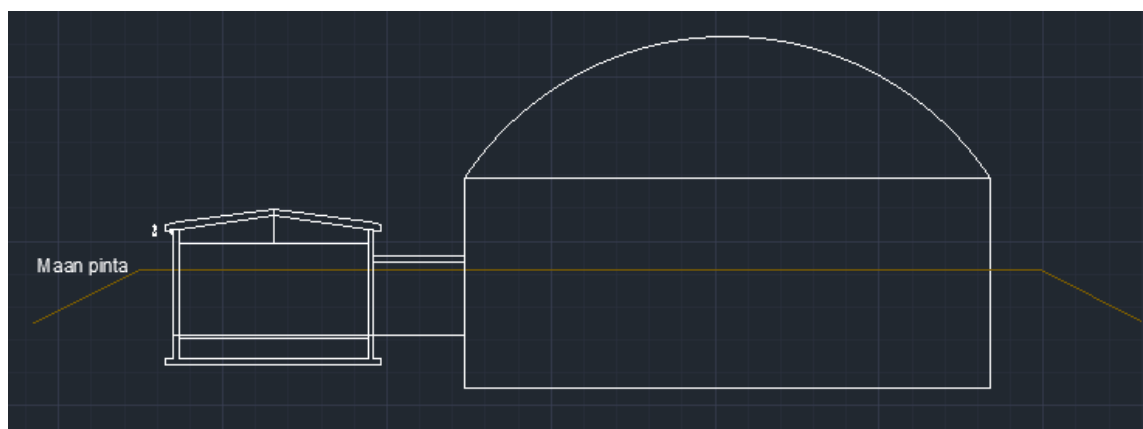
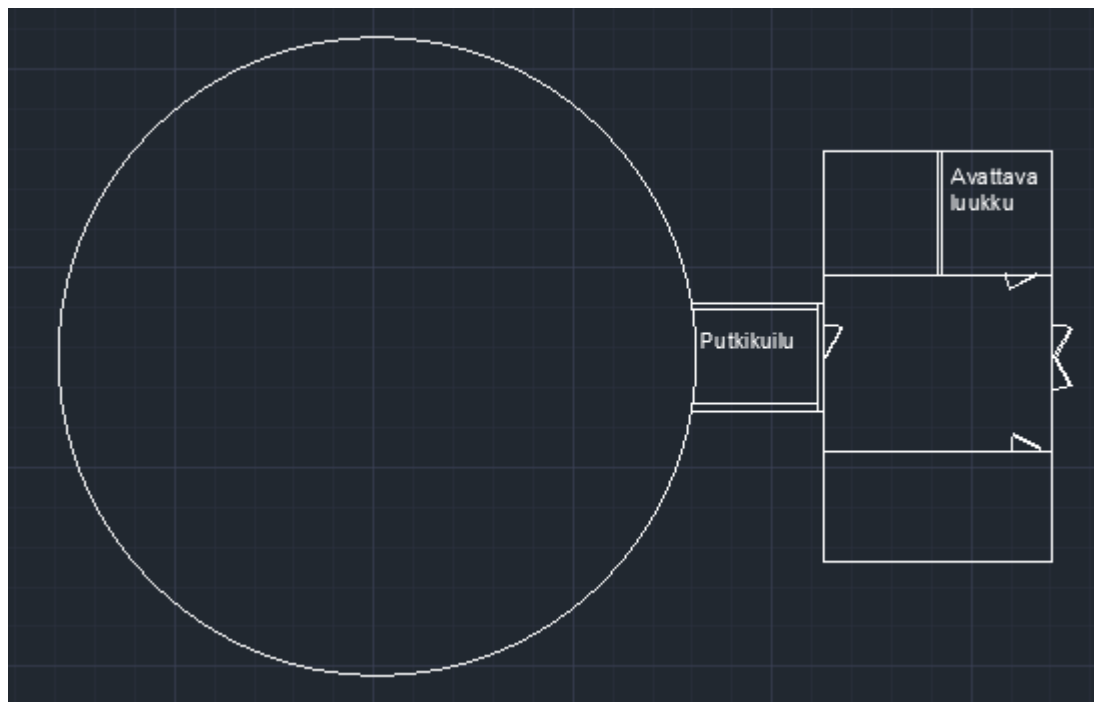
Layout vaihtoehto 1.



Layout vaihtoehto 2.



Layout vaihtoehto 3.



Layout vaihtoehto 4.

